



GRACE-benzeri Toplam Su Bütçesi Değişim Modellerinin Derin Öğrenme Algoritmaları ile Simülasyonu

The Simulation of GRACE-like Terrestrial Water Storage Anomaly Models using Deep Learning Algorithms

Metehan Uz^{1,✉}, Kazım Gökhan Atman², Merve Keleş¹, Tuğçe Ay¹, Bihter Tandoğdu¹,
Orhan Akyılmaz¹, C.K. Shum^{3,4}, Yu Zhang³, Hüseyin Mercan⁵

¹Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²The School of Mathematic Sciences, Ouenn Mary University of London, London, United Kingdom

³The School of Earth Sciences, Ohio State University, Columbus, Ohio, United States

⁴Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, China

⁵Geomatik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

✉uzme16@itu.edu.tr

Özet

2002 yılı Nisan ayından 2017 yılı Haziran ayına kadar yörünge dolanımı gerçekleştiren GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) misyonunun yanı sıra 2018 yılı Mayıs ayında yörüngeye fırlatılan ve halen aktif olarak görev alan GRACE-FO (-Follow On) misyonu görev sürelerince yeryuvarının toplam su bütçesi değişimlerinin (TSBD) modellenmesine katkı sağlamaktadır. Gerek uydu konfigürasyonu gerekse yörünge manevraları gibi yapay etkilerin varlığı ile GRACE/-FO misyonlarına ait ölçü ve gözlemlerle kestirilen gravite alanı modellerinde boşluklar bulunmaktadır. Ayrıca iki misyonun aktif oldukları zaman periyotları arasında 11 aylık boşlukta (2017 Temmuz – 2018 Mayıs) vardır. Son yıllarda 11-aylık boşluğun elde edilebilirliği Makine ve/veya Derin öğrenme (MÖ, DÖ) teknikleri kullanılarak araştırılmaya başlanmıştır. GRACE-benzeri TSBD modellerinin DÖ algoritmaları kullanılarak kestirilmesi ve bu boşluğun doldurulmasında hidroklimatik verilerinin (yağış, sıcaklık, buharlaşma v.b.) sahip olduğu mekânsal-zamansal değişimlerin de dikkate alınması sıkça uygulanır hale gelmiştir. Bu çalışma kapsamında, Convolutional Neural Network (CNN), Deep Convolutional AutoEncoder (DCAE) ve Bayesian Deep Convolutional encoder-decoder Networks (BCNN) algoritmaları kullanılarak GRACE-benzeri TSBA modelleri sadece karaları içerecek biçimde elde edilmiştir. Çalışma literatürde şu ana kadar uygulanmamış olan iki özgün amacı kapsamaktadır; (i) SWARM uydu misyonuna ait Küresel Harmonik Katsayılardan hesaplanan TSBD modelleri girdi verisi olarak ele alınmış ve böylece gravite alanının uzun dalga boylu sinyalinin simülasyon modellerine başarılı bir şekilde aktarılması sağlanmıştır. Öte yandan (ii) aylık modellerin sahip oldukları zaman bilgisi de girdi verisi olarak kullanılarak kestirilen sinyallerin trend ve mevsimsel davranışının anlamlı bir şekilde modellenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)'ye ait ERA5-Land modelinin sahip olduğu veya türetilen yağış, sıcaklık ve kümülatif su bütçesi değişimi gibi veriler hidroklimatik girdi verileri olarak kullanılmıştır. Böylece üç farklı DÖ algoritması kullanılarak Ocak 2014 ile Aralık 2020 ayları arasında tanımlı GRACE-benzeri TSBD simülasyon modelleri elde edilmiştir. Modellerin başarısı hem matematiksel hem de fiziksel anlamda test edilmesi amacıyla iç ve dış doğrulama işlemlerine tabii tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: GRACE ve GRACE-FO Uydu Misyonları, GRACE-benzeri TSBD, Derin Öğrenme Algoritmaları

Abstract

The Terrestrial Water Storage Anomalies (TWSA) have been modelled using GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) observations from April 2002 to June 2017 and GRACE-FollowOn observations until May 2018. There are data gaps in time period of the gravity field due to the orbit configuration and artificial effects such as manoeuvres. In addition, there is 11'th months gap between, i.e., July 2017 and May 2018, GRACE and GRACE/-FO. Nowadays, GRACE-like TWSA simulations are studied using Deep Learning (DL) and/or Machine Learning (ML) algorithms in order to model and fill to this gap considering hydro-climatic variables, i.e., precipitation and/or temperature data. In this study, Convolutional Neural Network (CNN), Deep Convolutional AutoEncoder (DCAE) and Bayesian Deep Convolutional encoder-decoder Networks (BCNN) are used to simulate GRACE-like TWSA



models only including land areas on Earth. There are two novel ideas which are listed as; (i) the long wavelength of the gravity field of SWARM satellites are considered as input to utilize gravitational information sensed by SWARM satellites, (ii) the normalized day-of-year (nDOY) of monthly models are also considered as input in order to determine the trend and seasonal behaviour of simulated TWSA significantly. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ERA5-Land datasets is also used as hydro-climatic input that are precipitation, temperature, and the cumulative water storage changes. Thus, the three different DL algorithms are utilized to simulate GRACE-like TWSA models between January 2014 and December 2020. The achievement of the simulated TWSA models is evaluated mathematically and physically considering in the internal and external validation.

Keywords: *GRACE and GRACE/-FO missions, GRACE-like TWSA, Deep Learning Algorithms*